

KOMPOSIT KARET ALAM DAN GRAFENA TERHADAP KARAKTERISTIK MEKANIK VULKANISAT VELG BAN BUSA PADAT

Natural Rubber and Graphene Composites on Mechanical Characteristics of Vulcanized Solid Foam Tire Velg

Popy Marlina^{1*}, Hari Adi Prasetya¹

¹Balai Riset dan Standardisasi Industri Palembang

¹ Jalan Perindustrian II No. 12 Sukarami KM. 09 Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia 30152

* *main contributor and coresponding author*

¹e-mail: popymarlina16@gmail.com

Diterima: 19 April 2019; Direvisi: 27 April 2021 – 06 Juni 2021; Disetujui: 27 juni 2021

Abstrak

Penelitian ini fokus pada penggunaan grafena sebagai filler karet alam. Tujuan penggunaan grafena untuk meningkatkan sifat mekanik vulkanisat velg ban busa padat. Grafena adalah bahan pengisi yang penting bagi polimer untuk meningkatkan sifat listrik, mekanik atau barrier karena sifat mekaniknya yang baik. Grafena dengan muatan berbeda (10, 20 dan 30 phr) divariasikan dengan sulfur (10 dan 20 phr), kemudian dikompositkan dengan karet alam. Pengaruh variasi muatan pengisi grafena dan sulfur pada pampatan tetap dan ketahanan usang untuk kekerasan, tegangan putus dan perpanjangan putus vulkanisat velg ban busa padat dipelajari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan pengisi dan sulfur dengan muatan paling efektif dalam karet alam pada 30 dan 20 phr. Perlakuan H6 (grafena 30 phr dan sulfur 20 phr), menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dibandingkan dengan perlakuan H7 menggunakan bahan pengisi *carbon black*. Grafena dalam penelitian ini dengan muatan 30 phr, dapat digunakan sebagai bahan pengisi produk karet, khususnya velg ban busa padat, dan alternatif bahan pengisi komersil seperti *carbon black*.

Kata kunci: Grafena, karet alam, karakteristik mekanik, velg ban busa padat

Abstract

This research focuses on the use of graphene as natural rubber filler. The purpose of using graphene is to improve the mechanical properties of vulcanized solid foam tire rims. Graphene is an important filler material for polymers to strengthen electrical, mechanical, or barrier properties due to its good mechanical properties. Graphene with different charges (10, 20, and 30 phr) was varied with sulfur (10 and 20 phr), then composited with natural rubber. The effect of load variation of graphene and sulfur fillers on fixed compression set and aging resistance to hardness, tensile strength, and elongation at break of vulcanized solid foam tire velg were studied. The results showed that the filler and sulfur were the most effective in natural rubber at 30 and 20 phr. Furthermore, the H6 treatment (graphene 30 phr and sulfur 20 phr) showed better mechanical properties than the H7 treatment using carbon black as filler. Therefore, graphene in this study with a 30 phr can be used as filler in rubber products, excellent foam tire wheels, and as an alternative to commercial fillers such as carbon black.

Key words: Graphene, Natural Rubber, Mechanical Characteristic, Solid Foam Tire Velg.

PENDAHULUAN

Karet alam jarang digunakan secara langsung dalam bentuk aslinya menjadi produk karet. Pembuatan produk karet banyak melibatkan bahan aditif. Bahan aditif dalam pembuatan produk karet seperti vulkanisator, akselerator, aktivator, antidegradan, filler, pelunak dan bahan tambahan lainnya. Aditif yang berperan besar dalam pembuatan produk karet adalah filler. Filler berperan dalam meningkatkan kemampuan proses, sifat

fisikomekanis seperti sifat tarik, kekerasan, ketahanan retak lentur, ketahanan sobek dan abrasi, dan dapat menurunkan harga produk akhir. Bahan yang dapat digunakan sebagai filler dalam pembuatan produk karet adalah *graphene*. *Graphene* adalah bahan pengisi yang penting bagi polimer untuk meningkatkan sifat listrik, mekanik atau barrier karena sifat mekaniknya yang baik, densitas rendah, konduktivitas termal tinggi dan mobilitas elektrik yang tinggi

(Stankovich *et al.*, 2006; Novoselov *et al.*, 2012). *Graphene* dapat tersebar dengan baik di kutub karet karena mengandung oksigen, sehingga interaksi dengan molekul karet akan lebih kuat.

Penggunaan *graphene* telah banyak dilakukan dalam penelitian, seperti Azira *et al.*, 2016; Hernández *et al.*, 2012, penggunaan *graphene* sebagai nanofiller multi fungsi untuk karet alam (NR), sifat mekanik karet alam mengalami peningkatan berdasarkan hasil penelitian tersebut. Penelitian komposit *graphene* dan *Natural Rubber Latex* (NRL), menghasilkan ketahanan abrasi, kekuatan mekanik, sifat konduktifitas listrik, konduktivitas thermal dan barrier gas yang sangat baik (Xin Liu *et al.*, 2016). Penelitian (Sayed *et al.*, 2019), substitusi *graphene* sebagai pengganti *carbon black* dalam pembuatan produk karet memberikan kekerasan, modulus dan ketahanan usang produk karet yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan filler *carbon black*. Penelitian komposit karet *silicon-graphene* digunakan sebagai sensor regangan untuk mendeteksi kondisi operasi karet seal (Yang *et al.*, 2018). Penelitian (Zhan *et al.*, 2011), membuat komposit karet alam dengan *graphene* menghasilkan kristalinitas yang lebih ditinggi dibandingkan dengan komposit karet alam dan *carbon black*.

Penelitian ini merupakan diversifikasi produk dari karet alam. Velg ban busa padat yang ada pada saat ini terbuat dari bahan plastik, belum pernah dilakukan penelitian pembuatan velg ban busa padat dengan bahan baku karet alam dari sumber daya alam lokal dan *graphena* sebagai filler. Diharapkan penggunaan karet alam untuk pembuatan velg dapat bertahan lebih lama, tidak korosif, bengkok dan patah, dapat memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pemakainya. Variasi percobaan dilakukan adalah variasi jumlah *graphene* dan sulfur dan sifat fisik mekanik dilakukan pengamatan meliputi, pampatan tetap, ketahanan usang untuk kekerasan, tegangan putus, dan perpanjangan putus. Komposit grafena dan karet alam diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik vulkanisat velg ban busa padat.

BAHAN DAN METODA

Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan, antara lain SIR 20, *graphene* (ukuran partikel 20 nm), *carbon black* (ukuran partikel 32 nm), ZnO, Asam Stearat, kaolin, Minyak Minarek, *Tetramethylthiuram disulfide* (MBTS), *Tetramethyl Thiuram Disulfide* (TMTD), Sulfur, *N-isopropyl-N'-phenyl-p-phenylenediamine* (IPPD), *Trimethyl Quinon* (TMQ), dibeli dari supplier PT. Bratachem.

Peralatan

Peralatan yang digunakan meliputi, Two roll mill L 40 cm D18 cm kapasitas 2 kg, *hot press apparatus*, timbangan analitik (Mettler p1210, 1200 g capacity), pengujian sifat fisik mekanik menggunakan *Durometer Frank Shore D* untuk pengujian kekerasan, pengujian tegangan putus dan perpanjangan putus dilakukan menggunakan *tensometer Lloyd 2000R*. Pengujian pampatan tetap menggunakan oven.

Metoda Penelitian

Rancangan Percobaan

Pelaksanaan penelitian skala laboratorium dengan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan faktor perlakuan variasi penggunaan *graphena* dan Sulfur, sebagai pembanding digunakan juga penelitian dengan penambahan *carbon black*. Formulasi vulkanisat velg ban busa padat dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Formula vulkanisat velg ban busa padat

| Bahan-bahan | Formula (part hundred rubber (phr)) | | | | | | |
|-------------|-------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | H1 | H2 | H3 | H4 | H5 | H6 | H7 |
| SIR 20 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Graphene | 10 | 20 | 30 | 10 | 20 | 30 | - |
| Kaolin | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| ZnO | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| As. Stearat | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| C. Black | - | - | - | - | - | - | 40 |
| IPPD | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| TMQ | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| MBTS | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| TMTD | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| Sulfur | 10 | 10 | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| PVI | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Tahapan Penelitian

Pencampuran

Pencampuran dalam gilingan terbuka (*open mill*), dengan tahapan sebagai berikut : Mastikasi SIR 20 sampai tekstur plastis. Pencampuran bahan pengisi *grapheme*, anti oksidan IPPD dan TMQ, aktivator ZnO dan asam stearat, bahan pencepat TMTD dan MBTS dan vulkanisator sulfur, masing-masing digiling sampai pencampuran homogen dengan waktu 2 hingga 3 menit. Kemudian ukuran ketebalan lembaran kompon ditentukan 2 mm, selanjutnya diletakkan diatas plastik transparan. Kompon dibuat menjadi vulkanisat, di masukkan dalam cetakan, dipress pada suhu 145°C selama 5 menit.

Pengukuran sifat fisik vulkanisat

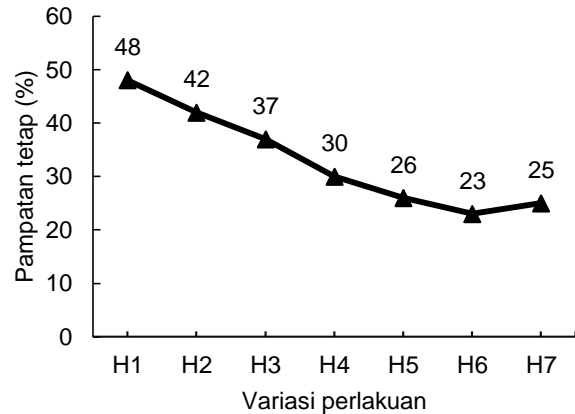
Pengujian sifat mekanik menggunakan *Durometer Frank Shore D* untuk pengujian kekerasan, mengacu pada ASTM.2240-15, pengujian tegangan putus dan perpanjangan putus dilakukan menggunakan *tensometer Lloyd 2000R* menurut ASTM D 412-16). Pengujian pampatan tetap berdasarkan ASTM D 395-03 pada suhu 70°C selama 48 jam. Ketahanan usang dilakukan pada oven pengusangan suhu 72 °C dan waktu 3 (tiga) hari mengacu ASTM D 573-04.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Mekanik Vulkanisat Velg Ban Busa Padat

Pampatan tetap

Pampatan tetap pada penelitian ini diuji pada suhu 75 °C, selama 48 jam. Suhu 75 °C bertujuan untuk membuat kondisi yang ekstrim untuk mengatasi penggunaan barang karet dalam jangka panjang. Perubahan bentuk karena kompresi akibat pemanasan karet dilakukan pengujian pampatan tetap (Hasan *et al.*, 2019). Nilai pampatan tetap vulkanisat karet untuk semua perlakuan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pampatan tetap vulkanisat velg ban busa padat

Nilai pampatan tetap yang semakin rendah, menunjukkan vulkanisat karet tahan terhadap pampatan setelah penekanan tertentu. Nilai pampatan tetap pada kondisi suhu 75 °C selama 48 jam, menunjukkan penurunan dengan semakin meningkatnya muatan pengisi. Semakin tinggi muatan grafena, nilai pampatan tetap menurun, ini mengindikasikan vulkanisat velg ban busa padat memiliki ketahanan pampat baik. *Graphene* adalah alotrop karbon, memiliki kinerja luar biasa karena strukturnya yang unik, memiliki luas permukaan tinggi (2600m²/g) (Lee *et al.*, 2008; Soldano *et al.*, 2010). Luas permukaan ini mengakibatkan kapasitas yang diperluas untuk terhubung dengan partikel elastis lebih baik, meskipun ikatan silang antarmuka lebih banyak, sehingga vulkanisat tidak mudah berubah bentuk (Maridass & Gupta, 2006, Xian *et al.*, 2015).

Nilai pampatan tetap vulkanisat velg ban busa padat untuk perlakuan H6 lebih kecil dibandingkan perlakuan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa Vulkanisat karet H6 memiliki ketahanan terhadap pampatan yang cukup baik dibandingkan dengan vulkanisat lainnya. Semakin tinggi muatan grafena ketahanan pampatnya semakin meningkat disebabkan bertambah luasnya permukaan bahan pengisi, banyaknya ikatan silang dan tingginya interaksi intramolekuler dari carbon grafena. Pengaruh jumlah pengisi dimasukkan kedalam matriks, tingkat disperse pengisi dan ukuran partikel yang menyebabkan

perbedaan nilai pampatan tetap yang cukup signifikan antar perlakuan. Pampatan tetap yang memenuhi nilai pampatan tetap velg ban busa padat yang menggunakan carbon black sebagai pengisi pembanding (Perlakuan H7), diperoleh pada perlakuan H6 dengan muatan grafena 30 phr, yaitu 23%.

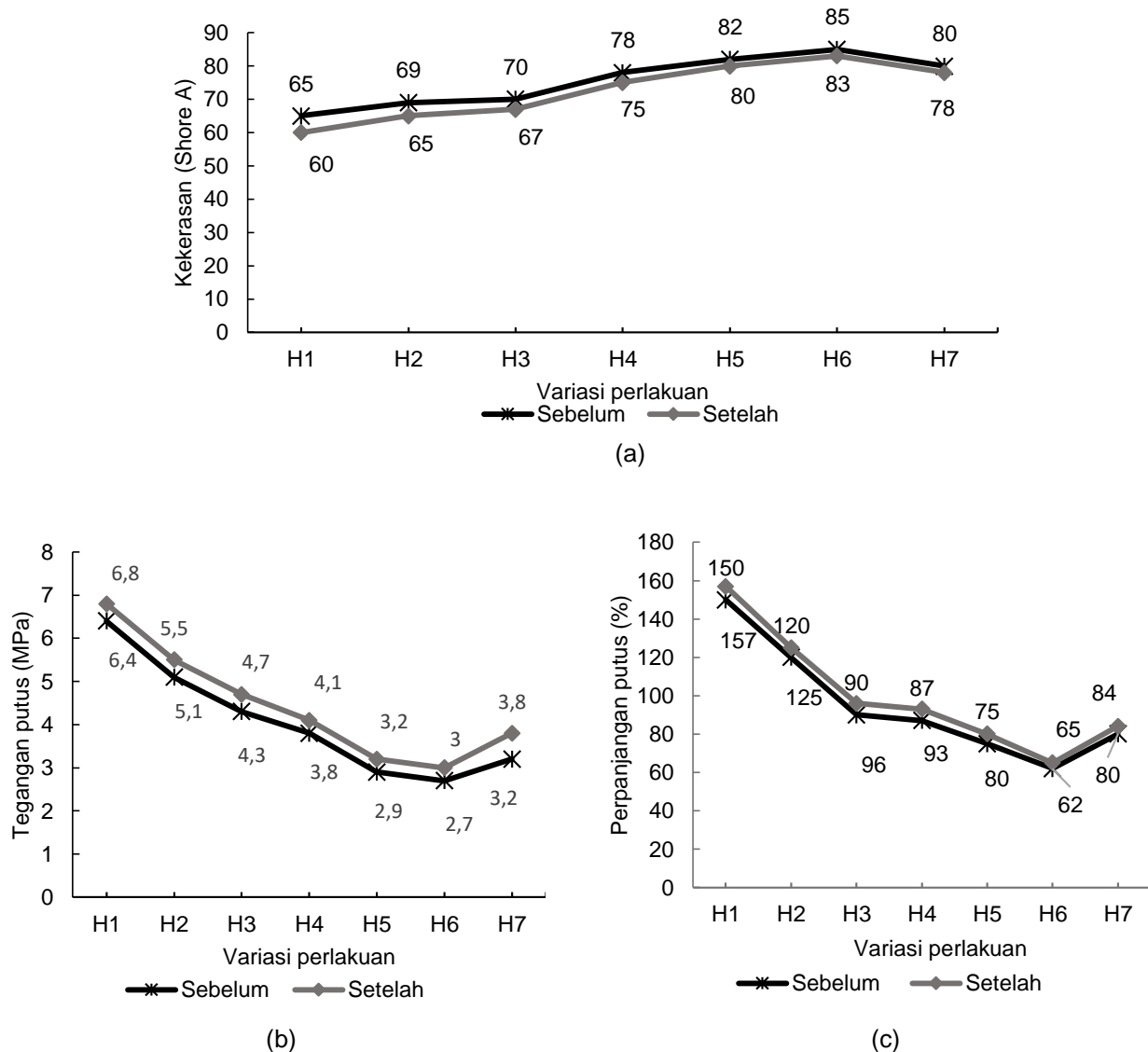
Ketahanan Usang

Sifat mekanik vulkanisat velg ban busa padat sebelum dan setelah pengusangan dapat dilihat pada Gambar 2. Kekerasan adalah sifat yang sangat mempengaruhi penampilan dan kekuatan produk karet. Kekerasan vulkanisat velg ban busa padat pada Gambar 2(a) menunjukkan penurunan seiring dengan muatan grafena yang meningkat. Panas akan mengakibatkan proses oksidasi dan degradasi lebih cepat selama pengusangan. Berdasarkan Gambar 2(a), penurunan nilai kekerasan pada perlakuan H5 dan H6 tidak jauh berbeda dibandingkan sebelum pengusangan, dimana nilai kekerasan sebelum pengusangan perlakuan H5 dan H6 masing-masing sebesar 82 Shore A dan 85 Shore, nilai kekerasan setelah pengusangan, masing-masing sebesar 80 Shore A dan 83 Shore A. Ini dapat terjadi bahwa fleksibilitas dari vulkanisat setelah pengusangan umumnya stabil, dalam pandangan pengisi *graphene* yang dapat menjaga vulkanisat tetap elastis. dan adanya demobilisasi rantai polimer dari permukaan grafena yang terdispersi dengan baik (Mustafa, 2016). Perubahan nilai kekerasan velg ban busa padat perlakuan H5 dan H6 setelah pengusangan lebih rendah dari kekerasan vulkanisat velg ban busa padat dengan bahan pengisi *carbon black* (Perlakuan H7, sebesar 78 Shore A). Sifat grafena yang akan meningkatkan kekerasan apabila muatan yang ditambahkan kedalam molekul karet semakin banyak, selain itu luas permukaan *graphene* yang jauh lebih besar dari *carbon black* (luas permukaan *carbon black* 900 m²/g) (Xin Liu *et al.*, 2016). Nilai kekerasan juga dipengaruhi oleh ukuran bahan pengisi, ukuran molekul dan luas permukaan. Peningkatan area permukaan ini menghasilkan kapasitas yang diperluas

untuk berinteraksi dengan partikel dengan lebih baik, sehingga vulkanisat menjadi lebih kaku dan keras (Marlina *et al.*, 2014). Tegangan putus dan perpanjangan putus vulkanisat velg ban busa padat setelah pengusangan (Gambar 2(b) dan 2(c)), meningkat dengan meningkatnya muatan grafena (10 phr hingga 30 phr). Grafena memiliki sifat mekanik yang sangat baik dan luas daerah permukaan yang tinggi, sehingga secara signifikan karakteristik komposit dengan pengisi grafena dapat meningkat. Karakteristik mekanik vulkanisat karet yang diisi grafena sangat tinggi dan tergantung pada dispersi pengisi dan interaksi antar muka antara pengisi dan karet (Tang *et al.*, 2015).

Nilai tegangan putus setelah pengusangan pada perlakuan H5 dan H6 meningkat tidak terlalu bermakna, hal ini mengindikasikan kestabilan interaksi antarmuka antara bahan pengisi dan matriks. Susunan ikatan membuat karet menjadi kaku dan kuat, akibatnya tegangan putusnya tetap tinggi setelah pengusangan. Selain itu, pengaruh ukuran partikel dan luas permukaan, memungkinkan semakin mudah untuk berinteraksi dengan matriks karet, sehingga meningkatkan ketahanannya terhadap pengusangan (Prasetya *et al.*, 2020). Perubahan nilai tegangan putus setelah pengusangan perlakuan H5 dan H6, masing-masing sebesar 3, 2 MPa dan 3 MPa tidak terlalu tinggi dibandingkan dengan perlakuan H7 (perlakuan menggunakan bahan pengisi *carbon black*), sebesar 3,8 MPa.

Peningkatan perpanjangan putus setelah pengusangan dapat disebabkan meningkatnya rapat ikatan silang antar molekul karet. Meningkatnya rapat ikatan silang molekul karet karena adanya kandungan sulfur bebas yang menyebabkan ikatan silang lebih lanjut selama proses pengusangan. Semakin lama waktu pengusangan rapat ikatan silang meningkat.



Gambar 2. Ketahanan usang vulkanisat velg ban busa padat: (a) Kekerasan, (b) Tegangan putus, (c) Perpanjangan putus

Adanya partikel bahan pengisi yang semakin kecil maka makin luas permukaan, menunjukkan makin banyak gugus fungsional bahan pengisi yang berikatan dengan molekul karet, sehingga interaksi yang terjadi baik secara fisika dan kimia akan semakin baik. Semakin tinggi muatan grafena semakin kecil nilai perpanjangan putus vulkanisat velg ban busa padat dan mencapai optimum pada perlakuan H5 sebelum pengusangan, yaitu 62% dan setelah pengusangan 65%. Efektivitas bahan pengisi dapat diukur dengan kandungan karbonnya. Kandungan karbon lebih tinggi pada bahan pengisi, memberikan penguatan lebih besar karena karbon itu sendiri

adalah pengisi penguat yang sangat baik (Prasetya & Marlina, 2019). Graphena memiliki kandungan atom-atom karbon yang memiliki ikatan karbon-karbon dan ukuran partikel yang kecil (Das & Heinrich, 2020; Process, 2020). Ukuran partikel bahan pengisi mempengaruhi karakteristik tegangan putus vulkanisat karet. Ukuran partikel bahan pengisi semakin kecil maka luas permukaan akan semakin besar, sehingga meningkatkan luas permukaan *interface* (antar muka) karet dengan grafena (Wu *et al.*, 2015). Interaksi antarmuka yang baik menyebabkan pengisi lebih mudah terdispersi di dalam karet alam. Hal ini menyebabkan vulkanisat karet dapat mentransfer panas

dengan baik dan mengurangi efek penurunan sifat akibat pengusangan. Selain itu, adanya bahan pengisi karet dapat mempertahankan sifat elastisitas setelah pengusangan karena adanya interaksi karet dan filler yang kuat.

Nilai perpanjangan putus sebelum dan sesudah pengusangan perlakuan H6 (62 dan 65%) lebih rendah dari perlakuan H7 (Sampel pembanding menggunakan bahan pengisi *carbon black*), yaitu masing-masing sebesar 80% dan 84%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Grafena dapat digunakan sebagai bahan pengisi *reinforcing substitusi carbon black*. Sifat mekanik vulkanisat ban busa padat seperti pampatan tetap, ketahanan usang untuk tegangan putus dan perpanjangan putus menunjukkan trend menurun sedangkan Ketahanan usang untuk kekerasan meningkat. Perlakuan H6 memberikan karakteristik vulkanisat velg ban busa padat dengan nilai terbaik (pampatan tetap 23%, perubahan tegangan putus 3 Mpa, perpanjangan putus 65% kekerasan 83 Shore A), dibandingkan dengan sampel pembanding H7 (pampatan tetap 25%, perubahan tegangan putus 3,8 Mpa, perpanjangan putus 84% kekerasan 78 Shore A) menggunakan bahan pengisi *carbon black*.

Saran

Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk aplikasi formula kompon pada produk karet dengan pengujian berdasar pada kondisi lingkungan yang sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Baristand Industri Palembang, yang telah memberikan fasilitas yang diperlukan, Analis dan Operator di Laboratorium Proses karet atas bantuannya dalam melakukan kegiatan praktek lapangan, dan pengujian di laboratorium hingga terselesaikannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Azira, A. A., Kamal, M. M., & Rusop, M. (2016). Reinforcement of graphene in natural rubber nanocomposite. *AIP Conference Proceedings*, 1733. <https://doi.org/10.1063/1.4948821>
- Das, A., & Heinrich, G. (2020). Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials. *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials*, 1–5. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36199-9>
- Hasan, A., Dewi, E., Purnamasari, I., Irawan, D., & S, P. Y. A. (2019). *Variasi Tanah Liat Di Berbagai Lapisan Area Tambang Pt . Bukit Asam (Persero) Tbk . The Physical Properties Of Rubber Vulcanize With Filling Materials Of Clay Soils In Various Mine Area Layers Bukit Asam (Persero) Tbk*. 10(01), 31–37.
- Hernández, M., Bernal, M. del M., Verdejo, R., Ezquerro, T. A., & López-Manchado, M. A. (2012). Overall performance of natural rubber/graphene nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 73(1), 40–46. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2012.08.012>
- Lee, C., Wei, X., Kysar, J. W., & Hone, J. (2008). Measurement of the elastic properties and intrinsic strength of monolayer graphene. *Science*, 321(5887), 385–388. <https://doi.org/10.1126/science.1157996>
- Maridass, B., & Gupta, B. R. (2006). Effect of carbon black on devulcanized ground rubber tire-natural rubber vulcanizates: Cure characteristics and mechanical properties. *Journal of Elastomers and Plastics*, 38(3), 211–229. <https://doi.org/10.1177/0095244306063480>
- Marlina, P., Pratama, F., Hamzah, B., & Pambayun, R. (2014). Karakteristik Kompon Karet Dengan Bahan Pengisi Arang Aktif Tempurung Kelapa Dan Nano Silika Sekam Padi Characteristics of Rubber Compound With the Fillers of Activated Coconut Shell Carbon and Nano-Sized Silica From Rice Husks. *Rindit Pambayun J Tek Ind Pert*, 25(1), 85–93.
- Mustafa, J.I. (2016). Natural Rubber/ Reduced Graphene Oxide (rGO) Composite Development. Thesys. January, 2016.
- Novoselov, K. S., Fal'Ko, V. I., Colombo, L., Gellert, P. R., Schwab, M. G., & Kim, K. (2012). A roadmap for graphene. *Nature*, 490(7419), 192–200. <https://doi.org/10.1038/nature11458>

- Prasetya, H. A., & Marlina, P. M. (2019). Pengaruh Bahan Pengisi Arang Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Swelling Dan Ketahanan Usang Karet Kopling Kendaraan Bermotor Roda Dua. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 30(1), 38. <https://doi.org/10.28959/jdpi.v30i1.5137>
- Prasetya, H. A., Marlina, P., & Widjajanti, R. (2020). Aging resistance and functional group analysis of natural rubber/oil palm empty fruit bunch charcoal composites. *AIP Conference Proceedings*, 2237(June). <https://doi.org/10.1063/5.0005338>.
- Process, L. M. (2020). *High Silica Content Graphene / Natural Rubber Composites Prepared by a Wet Compounding*.
- Sayed, F., Parmar, M., & Auti, S. (2019). A review on graphene. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 8(09), 323–331. https://doi.org/10.1007/978-981-13-2490-1_29
- Soldano, C., Mahmood, A., & Dujardin, E. (2010). Production, properties and potential of graphene. *Carbon*, 48(8), 2127–2150. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2010.01.058>
- Stankovich, S., Dikin, D. A., Dommett, G. H. B., Kohlhaas, K. M., Zimney, E. J., Stach, E. A., Piner, R. D., Nguyen, S. B. T., & Ruoff, R. S. (2006). Graphene-based composite materials. *Nature*, 442(7100), 282–286. <https://doi.org/10.1038/nature04969>
- Tang, B., Hu, G., Gao, H., & Hai, L. (2015). Application of graphene as filler to improve thermal transport property of epoxy resin for thermal interface materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 420–429. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.141>.
- Wu, X., Lin, T. F., Tang, Z. H., Guo, B. C., & Huang, G. S. (2015). Natural rubber/graphene oxide composites: Effect of sheet size on mechanical properties and strain-induced crystallization behavior. *Express Polymer Letters*, 9(8), 672–685. <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett.2015.63>.
- Xian, H., Peng, T.J., & Sun, H.J. (2015). Effect of Particle Size of Natural Flake Graphite on the Size and Structure of Graphene Oxide Prepared by the Modified Hummers Method. *Materials Science*, 814 pp 185-190.
- Xin Liu, Le-Ying Wang, Li-Fen Zhao, Hai-Feng He, Xiao-Yu Shao, Guan-Biao Fang, Zhen-Gao Wan, Rong-Chang Zeng. 2016. Research Progress of Graphene-Based Rubber Nanocomposites. *Polymer Composite*. Pp. 1 – 17. <https://doi.org/10.1002/pc.24072>
- Yang, H., Yao, X. F., Zheng, Z., Gong, L. H., Yuan, L., Yuan, Y. N., & Liu, Y. H. (2018). Highly sensitive and stretchable graphene-silicone rubber composites for strain sensing. *Composites Science and Technology*, 167(August), 371–378. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.08.022>
- Zhan, Y., Wu, J., Xia, H., Yan, N., Fei, G., & Yuan, G. (2011). Dispersion and exfoliation of graphene in rubber by an ultrasonically-assisted latex mixing and in situ reduction process. *Macromolecular Materials and Engineering*, 296(7), 590–602. <https://doi.org/10.1002/mame.201000358>